

MASSA ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA E DENSIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTAÇÃO

C D T - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Setembro de 2014



DESIGNAÇÃO - ARTERIS T- 209-12

Método Padrão para Ensaio de

Massa Específica Teórica Máxima e Densidade de Misturas Asfálticas para Pavimentação

Designação ARTERIS T 209 – 10



1. ESCOPO

1.1. Este método estabelece a Determinação da Massa Específica Teórica Máxima e Densidade de Misturas Asfálticas Quente (MAQ) soltas (não compactadas) a 25 °C.

Nota 1 – A precisão do método é melhor quando os procedimentos de ensaios são realizados em amostras quem contém agregados totalmente recobertos. Para assegurar o recobrimento completo é conveniente ensaiar amostras que estão próximos do teor ótimo de asfalto.

1.2. Os valores constantes deste método estão no Sistema Métrico Internacional e são definidos como padrão.

1.3 Esta Norma pode envolver materiais, operações ou equipamentos prejudiciais à saúde. Esta Norma não se propõe a atender a todos os problemas de segurança associados ao seu uso. É da responsabilidade de seus usuários estabelecerem, antecipadamente, os padrões de segurança e prevenção de acidentes necessários, assim como determinar a aplicabilidade dos regulamentos específicos ao seu uso.

2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

2.1. Normas :

- AASHTO ET 231, Equipamentos de pesagem utilizados nos testes de materiais.
- AASHTO R 61, Establishing Requirements for and Performing Equipment Calibrations, Standardizations, and Checks.
- ARTERIS R 47, Redução de Amostras de Misturas Asfálticas.
- AASHTO T 168, Amostragem de misturas asfálticas para pavimentação

2.2. Normas ASTM :

- C 670 Práticas para a precisão e variáveis adotadas em métodos de ensaios para materiais de construção
- D 4311/D4311 M, Norma para Determinar a Correção de Volume de Asfalto para uma Temperatura Básica

3. TERMINOLOGIA

3.1. Definições:

3.1.1 Densidade, como determinada neste método – A massa de 1 metro cúbico de material a 25°C

(77°F), pelo Sistema Métrico Internacional, ou a massa de um pé cúbico de material a 25°C (77°F) na unidade Inglesa.

3.1.2 Pressão Residual, como empregada pelo método – A pressão num Frasco quando o vácuo é aplicado.

3.1.3 Massa Específica, como determinada neste método – A razão de uma dada massa à 25°C para igual volume de água à mesma temperatura.

4. RESUMO DO MÉTODO DE ENSAIO

4.1. Uma amostra, já pesada, da MAQ na condição solta e seca, é colocada num Frasco de peso conhecido. Uma quantidade suficiente de água a $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ é adicionada até cobrir completamente a amostra. O Vácuo é aplicado por um período de 15 ± 2 minutos para gradualmente reduzir a uma pressão residual no frasco para $3,7 \pm 0,3$ kPa. Ao final deste período, o vácuo é reduzido gradualmente. O volume da amostra da MAQ é obtido seja pela imersão do Frasco com a amostra totalmente em água e determinando o peso (seção 13.1) ou enchendo completamente o Frasco com água e pesando ao ar (seção 13.2). Na hora da pesagem se mede a temperatura assim como o peso da amostra. Das medições de massa e volume, a Massa Específica ou Densidade a 25 °C é calculada. Se a temperatura for diferente de 25 °C, é necessário corrigir de maneira apropriada.

5. SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO

5.1 A Massa Específica Teórica Máxima e Densidade da MAQ são propriedades intrínsecas cujos valores são influenciados pela composição das misturas em termos de tipos e quantidades de agregados e materiais asfálticos.

5.1.1 Estas propriedades são usadas para calcular valores de porcentagem de vazios de ar (%Va) em MAQ compactada.

5.1.2 Estas propriedades proporcionam valores comparativos para a compactação de MAQ.

5.1.3 Estas propriedades são essenciais para o cálculo de quantidade de asfalto absorvido pela porosidade interna das partículas individuais de agregados numa MAQ.

6. APARELHOS

6.1. Siga os procedimentos que estabelecem os requisitos para e executar verificações, e calibrações de equipamentos e checagens descritos no R 61.

6.2. Frasco para vácuo:

6.2.1. O frasco descrito deve ser capaz de suportar o vácuo total aplicado e deve ter os ajustes e acessórios requeridos para o método de ensaio empregado. A abertura no frasco que conduz à bomba de vácuo deve ter uma tela de arame de 75 µm para minimizar a perda de material.

6.2.2. A capacidade do Frasco deve estar no intervalo de 2000 e 10000 mL e depende do tamanho mínimo da amostra a ser ensaiada de acordo como os requisitos dados em 7.2. Evite usar uma amostra

pequena num Frasco grande.

6.2.3. Painel de Vácuo – Uma painel de metal ou plástico com diâmetro aproximado de 180 a 260mm e uma altura de pelo menos 160mm, equipada com uma cobertura transparente, com uma adequada gaxeta de borracha e uma conexão para a linha de vácuo.

6.2.4. Frasco somente para Determinação da massa a vácuo no ar (seção 13.2) – Um frasco volumétrico de vidro de parede grossa e uma rolha de borracha com uma conexão para a linha de vácuo.

6.2.5. Picnômetro somente para determinação da massa no ar – Um picnômetro de vidro, metal ou plástico.

6.3. Balança – Uma balança em conformidade com a ARTERIS ET 231, Classe G2. A balança deve ser calibrada a menos de 12 meses.

6.3.1 Para a determinação da massa no método imerso em água, a balança deve ser equipada com um arame adequado para permitir determinar a massa da amostra enquanto suspensa abaixo da balança. O arame de união da balança com a amostra deve ser o mais fino possível para minimizar o máximo possível qualquer efeito pela variação do comprimento imerso.

6.4 Bomba de vácuo ou aspirador de água, capaz de evacuar ar de um Frasco até uma pressão residual de 4.0 KPa.

6.4.1 Quando é usada uma bomba de vácuo, é necessário que uma bateria de um ou mais frascos ou equivalente, deve ser instalado entre o Frasco e a bomba para reduzir a quantidade de vapor de água entrando na mesma.

6.5 Dispositivo de medição de vácuo - Manômetro para Pressão Residual ¹ ou um medidor de vácuo para ser conectado diretamente no frasco de vácuo e ser capaz de medir a pressão residual abaixo de 4.0 kPa (30mm Hg) ou menos (preferencialmente zero). O manômetro deve ser calibrado pelo menos anualmente e ter uma precisão de 0,1 kPa (1mm Hg). É para ser conectado no fim da linha de vácuo usando um tubo apropriado ou uma conexão “T” no topo do frasco ou uma abertura diferente (da linha de vácuo) no topo do frasco para conectar a mangueira. Para evitar danos, o manômetro não deve estar colocado no topo do frasco.

Nota 2 – A pressão residual de 4.0 kPa (30 mm Hg) pressão absoluta é aproximadamente equivalente a 97 kPa (730 mm HG) lida no medidor de vácuo ao nível do mar.

Nota 3 – A pressão residual, medida em milímetros de mercúrio, é a diferença entre a altura de mercúrio na perna de vácuo do manômetro de Torricelli para a outra conectada ao frasco sob vácuo.

Nota 4 – Um exemplo do arranjo apropriado para o equipamento de ensaio é mostrado na Fig.1. Na figura a finalidade da linha de pequenos frascos filtros é bloquear o vapor de água aspirado na aplicação do vácuo no frasco e evitar a entrada na câmara de vácuo diminuindo sua capacidade de produzir adequado vácuo. A inserção de uma válvula para isolar a linha para cada câmara de vácuo pode reduzir o desgaste na válvula sangradora e ajudar no rastreamento de vazamentos na vedação.

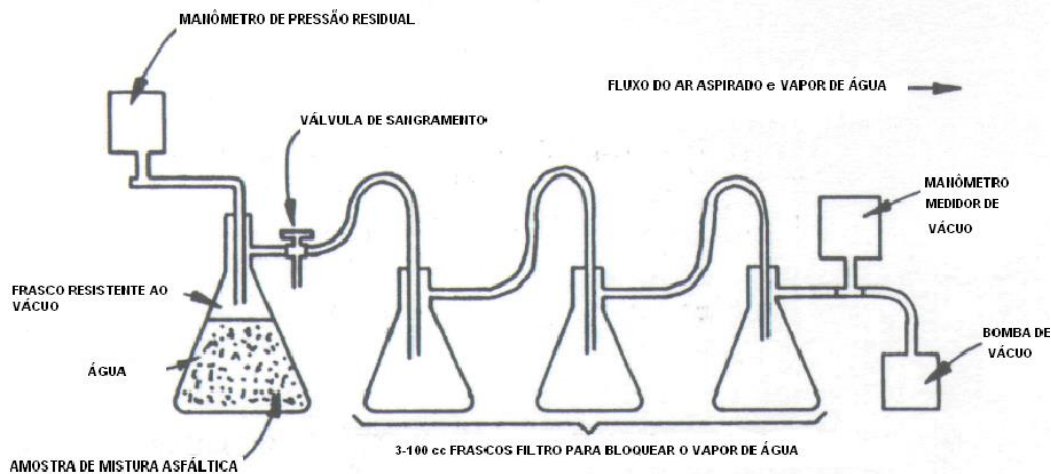


FIG. 1 UM EXEMPLO DE ARRANJO APROPRIADO PARA O EQUIPAMENTO

6.6 Válvula de Sangramento, colocada na linha de vácuo para facilitar o ajuste do vácuo a ser aplicado ao Frasco.

6.7 Dispositivo termométrico (Determinação da massa ao ar) – Um Termômetro de vidro, ou outro tipo de termômetro, com precisão e subdivisões de 0,5°C (1°F). O termômetro deve ser calibrado na temperatura do teste a menos de 12 meses.

6.8 Caixa d'água:

6.8.1 Para a panela de vácuo, a Caixa d'água deve ser capaz de manter a temperatura constante entre 20°C e 30°C (Veja no apêndice X1 um método para corrigir a densidade máxima teórica para 25°C, quando a temperatura não é 25°C.).

6.8.2 Dispositivo termométrico (Determinação da massa na água) – Um Termômetro de vidro, ou outro tipo de termômetro, com precisão e subdivisões de 0,5°C (1°F) deve ser usado para medir a temperatura da água no banho. O termômetro deve ser calibrado a menos de 12 meses.

6.8.3 Quando usando a técnica de massa na água (seção 13.1), a Caixa d'água deve ser de um tamanho adequado para caber o Frasco suspenso com a amostra sem ar.

6.9 Estufa – Uma estufa de secagem controlada por termostato capaz de manter a temperatura de 135±5°C ou 105±5°C.

6.9.1 Dispositivo termométrico – Um Termômetro de vidro, ou outro tipo de termômetro, com precisão e subdivisões de 3°C (5°F) deve ser usado para medir a temperatura da estufa. O termômetro deve ser calibrado a menos de 12 meses.

6.10 Luvas protetoras, usar quando manusear equipamento de vidro submetido a vácuo.

7. AMOSTRAGEM

7.1. Amostras de campo devem ser obtidas de acordo com T 168. Quando necessário, reduza as amostras de campo ou amostras preparadas em laboratório, de acordo com R 47.

7.2. O tamanho da amostra deve atender aos requisitos abaixo. Amostras maiores do que a capacidade do Frasco deverão ser ensaiadas por partes.

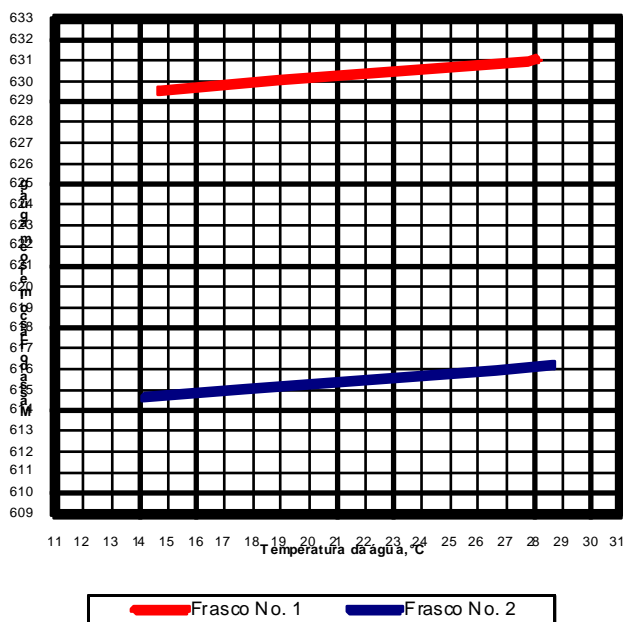
Tabela 1 - Tamanho Mínimo da Amostra

Agregados de Tamanho Máximo Nominal, mm	Tamanho Mínimo da Amostra, g
37,5 ou maior	4.000
19 a 25	2.500
12,5 ou menos	1.500

8. CALIBRAÇÃO DOS FRASCOS, DISSECADORES E PICNÔMETROS

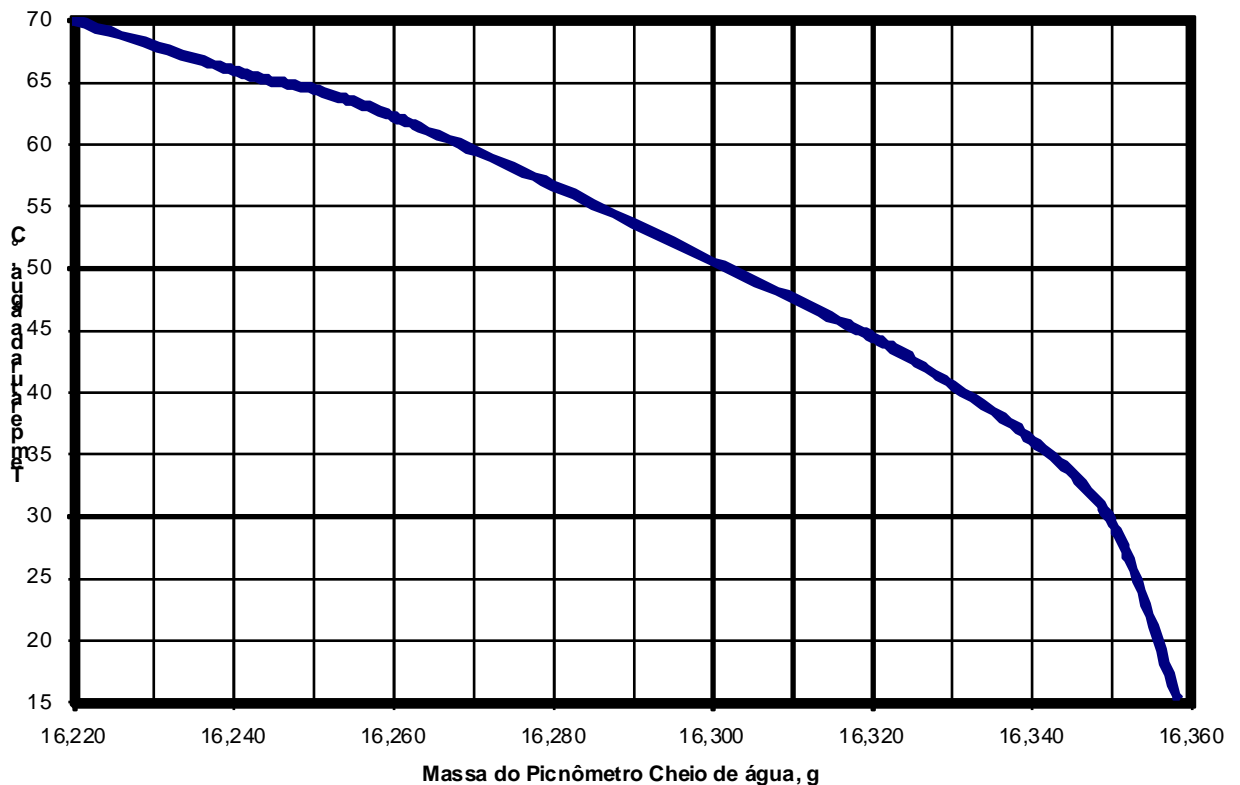
8.1. Para o método de determinação da massa em água (seção 13.1), calibre as panelas de vácuo para correção de temperatura, determinando a massa de cada panela quando imersa em água no intervalo de temperaturas de banho de água possível de acontecer no laboratório (fig.2).

Fig. 2 - Exemplo de Curva de Calibração para Frasco Volumétrico.



8.2. Para o método de pesagem ao ar (seção 13.2), calibre os Frascos volumétricos ou picnômetros para correção da temperatura, pela determinação da massa do Frasco quando cheio de água, no intervalo de temperatura ambiente possível de acontecer no laboratório (fig. 3). Quando calibrado a $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 0,9^{\circ}\text{F}$) designe esta massa como **D**. O enchimento cuidadoso pode ser assegurado pelo uso de um prato de vidro para cobrir o Frasco.

Fig 3 - Exemplo da Curva de Calibração para Picnômetro



8.3. Calibre o picnômetro grande de plástico pela determinação precisa da quantidade de água necessária para enchê-lo num intervalo de temperatura de 20 a 65°C (70 a 150°F) e faça a curva de calibração da massa versus temperatura como mostrado na Fig. 3. Cuidados devem ser tomados para seguir exatamente o mesmo procedimento usado na execução dos ensaios.

8.3.1 O seguinte procedimento pode ser usado para o Modelo de Frasco de boca com tampa vedada e registro. A tampa da boca é fechada e o picnômetro enchido quase todo com água. Deixe cerca de 50 mm (2") sem encher. A liberação das bolhas de ar será facilitada pela aplicação do vácuo e balançando o picnômetro primeiro para um lado e depois para o outro e levantando cerca de 10 mm (1/2") da superfície da bancada. O procedimento de aplicação de vácuo e liberação de bolhas deve ser feito em aproximadamente 10 minutos até que o equilíbrio de temperatura entre o Frasco e a água tenha sido alcançado no momento de realizar o ensaio. O restante de água será adicionada suavemente até alcançar a metade do gargalo. Qualquer bolha de ar que ficar presa na cúpula que não possa ser removida por balanço ou agitação do Frasco deverá ser "furada" ou puxada por um arame inclinado ou outro objeto. Coloque a válvula de sangramento usando somente a força necessária para assentá-la e imediatamente seque o excesso de água do Frasco.

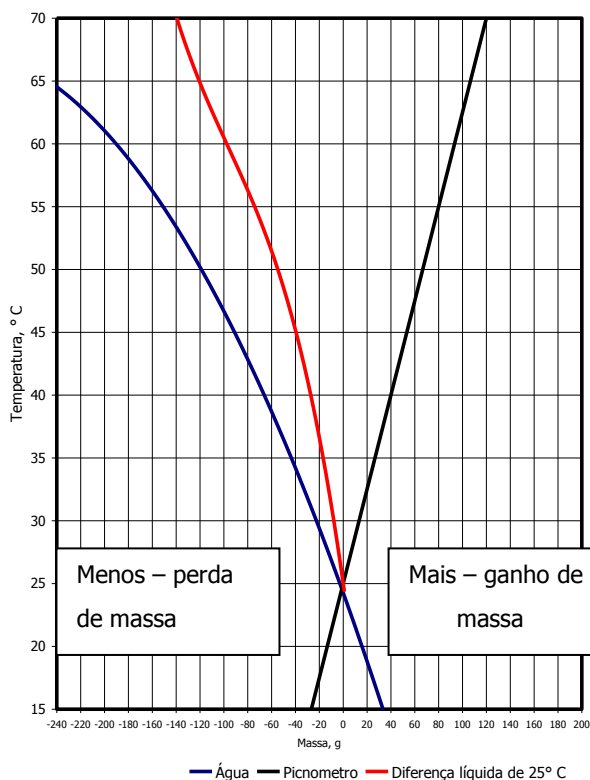
8.3.2 Para os modelos que tenham "engate rápido" para a linha de vácuo e tampa sem fecho, o procedimento de enchimento de água deve ser feito da seguinte maneira: Com a válvula de entrada fechada, aplique vácuo de cerca 30 kPa (10") de Hg. Abra a válvula lentamente deixando entrar água até

atingir o nível de 25 mm abaixo do topo do Frasco e então feche a válvula. Continue a aplicar vácuo e libere as bolhas balançando e batendo de leve com uma marreta de borracha. Abra a válvula devagar e permita que mais água entre no Frasco até que escorra pela tubulação de vácuo e então feche a válvula. Esta aplicação de vácuo e liberação de bolhas de ar deve ser feita em cerca de 10 minutos, até que o equilíbrio de temperatura entre o Frasco e a água tenha sido alcançado no momento de realizar o ensaio. Desconecte a linha de vácuo puxando o "engate rápido" abaixo do manômetro.

8.3.1. Limpe o lado de fora do picnômetro seco, determine a massa do picnômetro cheio e meça a temperatura da água.

Nota 5 – A forma da curva de calibração é função de dois fatores opostos que podem ser racionalmente definidos. Quando a temperatura aumenta, o Frasco também expande (Adicionando massa - linha "picnômetro" na Fig. 4) e a densidade da água dentro do Frasco diminui (resultando em perda de massa – a linha "água" na Fig. 4). Esta correlação está mostrada na Fig. 4 para um picnômetro típico de grande tamanho . A curva da “água” pode ser construída multiplicando o volume a 25 °C (77 °F) pela diferença da densidade da água a 25 °C, que é 0,9970, e a densidade da água na temperatura de calibração (veja equação 1).

Fig. 4 Efeito da Temperatura na mudança da Densidade da Água e Volume do Picnômetro



Diferença devido à expansão da água = $V_{25} (0,9970 - dw)$

Desde que $V_{25} = (W_{25}) / 0,9970$

$$V_{25} (0,9970 - dw) \text{ se transforma em } W_{25} \left(1 - \frac{dw}{0,9970} \right) \quad (1)$$

Onde:

V_{25} = Volume de água para encher o Frasco a 25 °C (77 °F), cm³

W_{25} = Massa de água para encher o Frasco a 25 °C (77 °F), g, e

dw = Densidade da água à temperatura de calibração, mg/m³.

A razão de mudança na capacidade do Frasco devido à expansão térmica do picnômetro é essencialmente constante num intervalo de temperatura de 20 a 65 °C (70 a 150 °F). Então a linha do picnômetro na Fig. 4 pode ser traçada do ponto 0 a 25 °C (77 °F) conhecendo somente a inclinação da reta. A inclinação pode ser estabelecida pela média de, no mínimo 5 medidas a alguma temperatura mais elevada, adicionando a perda devida à expansão da água e subtraindo a massa a 25 °C, W_{25} , para o ganho na capacidade de expansão do Frasco. A diferença de massa dividida pela diferença de temperatura é a inclinação da reta da linha do "picnômetro". Para um picnômetro de policarbonato com capacidade aproximada de 13.500 ml, a inclinação então estabelecida foi 2,75 g / °C (1,53 g / °F). Acredita-se que este valor seja um padrão típico e razoavelmente constante.

A curvatura da curva de calibração (Fig. 3) devido a estes fatores de compensação térmica minimiza desta maneira os erros de precisão devido aos efeitos da temperatura no intervalo de trabalho normal, 25 °C, para ambos os processos, Frasco volumétrico ou o picnômetro. Definindo a curva de calibração torna possível corrigir a temperatura, melhor do que "Trazer para a temperatura", além de eliminar o custo de uma caixa d'água e tornando viável o aumento da precisão por ensaiar amostras maiores e efetivamente reduzir o tempo de ensaio.

8.4. Apesar da calibração do Frasco, ou do Picnômetro necessitar ser realizada só uma vez, esta calibração deve ser verificada ocasionalmente, exatamente a 25 °C. O Frasco deve ser mantido limpo e livre de qualquer acúmulo que possa alterar a massa enquanto o volume permanece constante. Cuidados devem ser tomados para se usar somente solventes neutros, especialmente com Frascos de plásticos ao passo que frascos de vidro não devem ser submetidos a vácuo se estiverem trincados ou danificados.

9. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

9.1. Separe as partículas da amostra de MAQ com as mãos, tomando cuidado de evitar quebrar o agregado, de maneira que as partículas da fração fina não fiquem maiores que 6,3 mm (1/4"). Se a amostra de MAQ não estiver muito fácil de ser separada manualmente, coloque-a numa bandeja rasa, e a aqueça na estufa até que possa ser separada conforme descrito.

9.2. Amostras preparadas no laboratório devem ser condicionadas e secadas na estufa a 135 ± 5 °C por, no mínimo, 2 horas, ou da mesma maneira usada no projeto de dosagem. Um tempo maior de secagem pode ser necessário para a amostra alcançar a massa constante (Massa repetida com precisão de 0,1%). Amostras que não foram preparadas em laboratório com agregados previamente secos devem ser secadas até massa constante a 105 ± 5 °C. Esta secagem e condicionamento deve ser combinada com

algum tipo de aquecimento descrito na seção 9.1.

Nota 6 – O mínimo de 2 horas na estufa à temperatura especificada como tempo de condicionamento de curto prazo é especialmente importante quando são usados agregados absorventes. O condicionamento de curto prazo irá assegurar a avaliação de valores realísticos para a quantidade de asfalto absorvida pelo agregado e as propriedades de vazios da mistura. MAQ produzidas em usinas não devem ser condicionadas no curto prazo, já que a absorção acontece durante a produção.

9.3. Esfrie a amostra à temperatura ambiente, coloque em um Frasco, panela ou Picnômetro calibrado e tarado. A amostra deverá ser colocada diretamente dentro do Recipiente. Um Frasco colocado dentro de outro não deve ser usado. Determine a massa e registre a massa líquida da amostra como *A*. Adicione água suficiente à temperatura aproximadamente de 25 °C (77 °F) até cobrir a amostra completamente.

Nota 8 – A liberação do ar preso na amostra pode ser facilitado pela adição de um agente apropriado de molhagem tal como Aerosol OT numa concentração de 0,001 por cento ou 0,2 g diluídas em 20 L de água. Esta solução é então diluída numa relação aproximada de 20:1 para que uma quantidade de 5 a 10 ml de agente de molhagem seja adicionada ao frasco.

MÉTODO DE ENSAIO A – AGITAÇÃO MECÂNICA

10. APARELHOS

10.1 Em adição aos aparelhos listados na seção 6, os seguintes aparelhos são requeridos para o método A:

10.1.1 Agitador Mecânico – Agitador para remover o ar da mistura asfáltica.

11. PROCEDIMENTO

11.1 Remova o ar preso na amostra aplicando gradualmente o vácuo até que a pressão residual no manômetro indique uma leitura de $3,7 \pm 0,3$ kPa. Mantenha esta pressão residual por 15 ± 2 minutos. Agite o Frasco com a amostra continuamente usando o equipamento mecânico durante o período de aplicação de vácuo. Frascos de vidro devem ser agitados sobre uma superfície flexível como borracha ou plástico, e não dura, para evitar impactos excessivos, sob vácuo.

11.2 Ao final do período de vácuo, reduza o vácuo pelo aumento da pressão numa taxa que não exceda 8 kPa (60 mm Hg) por segundo e proceda com um dos métodos de determinação de massa na seção 13.

MÉTODO DE ENSAIO B – AGITAÇÃO MANUAL

12. PROCEDIMENTO

12.1 Remova o ar preso na amostra aplicando gradualmente o vácuo até que a pressão residual no manômetro indique uma leitura de $3,7 \pm 0,3$ kPa. Mantenha esta pressão residual por 15 ± 2 minutos. Agite o Frasco com a amostra continuamente durante o período de aplicação de vácuo por vigorosas

balançadas a intervalos aproximados de 2 min. Frascos de vidro devem ser agitados sobre uma superfície flexível como borracha ou plástico, e não dura, para evitar impactos excessivos, sob vácuo.

12.2 Ao final do período de vácuo, reduza o vácuo pelo aumento da pressão numa taxa que não exceda 8 kPa (60 mm Hg) por segundo e proceda com um dos métodos de determinação de massa na seção 13.

13. DETERMINAÇÃO DA MASSA

13.1 Determinação da massa na água – Coloque o Frasco com a amostra imerso no recipiente com água e determine a massa após 10 ± 1 min. Meça a temperatura da água, e, se diferente de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ($77 \pm 1,8^\circ\text{F}$), corrija a massa para 25°C usando o ajuste de temperatura da curva de temperatura desenvolvida no item 8.1. Registre a massa da amostra na água a 25°C como **C**.

Nota 8 – Em vez de usar um gráfico como Fig. 2 para estabelecer a correção de massa para a temperatura da água, esta correção pode ser, facilmente, estabelecida por, imediatamente após a determinação da massa final, esvaziar total e rapidamente o frasco, e determinar sua massa, submerso totalmente em água.

13.2 Determinação da massa ao ar – Complete o Frasco, ou qualquer outro dos picnômetros com água e ajuste o conteúdo à temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ($77 \pm 2^\circ\text{F}$). Determine a massa do Frasco cheio de água mais a amostra, de acordo com a seção 8.2 dentro de 10 ± 1 minutos após a conclusão dos procedimentos da seção 11.1 ou 12.1. Designe esta massa como **E**.

Nota 9 – Veja apêndice X1 para corrigir a Massa Específica Teórica Máxima da amostra quando as determinações de massa são feitas a temperaturas diferentes de 25°C .

14 CÁLCULOS

14.1 Calcule a Massa Específica Teórica Máxima da amostra a 25°C da seguinte maneira:

14.1.1 Determinação de massa na água:

$$\text{Massa Específica Teórica Máxima} = \frac{A}{A - C} \quad (2)$$

Onde:

A = Massa da amostra, seca em estufa, ao ar, g, e

C = Massa da água deslocada pela amostra a 25°C (77°F), g,.

14.1.2 Determinação de massa no ar:

$$\text{Massa Específica Teórica Máxima} = \frac{A}{A + D - E} \quad (3)$$

Onde:

A = Massa da amostra, seca em estufa, ao ar, g, e

D = Massa do Frasco cheio de água a 25°C (77°F), g, e

E = Massa do Frasco cheio com a amostra e água a 25°C (77°F), g.

14.1.3 Determinações para o Picnômetro de plástico de grande tamanho:

14.1.3.1 Se a temperatura do ensaio estiver entre 22,2 e 26,7 °C (72 e 80 °F), a equação (3) poderá ser usada para calcular a massa específica com um erro menor devido aos efeitos térmicos (0,001 pontos ou menos).

14.1.3.2 Se a temperatura do ensaio diferir significativamente de 25 °C (77 °F), corrija os efeitos térmicos como mostrado a seguir:

$$\text{Massa Específica} = \frac{A}{(A + F) - (G + H)} \times \frac{dw}{0,9970} \quad (4)$$

Onde:

A = Massa da amostra, seca em estufa, ao ar, g,

F = Massa do picnômetro cheio de água à temperatura do ensaio (Fig. 3), g,

G = Massa do picnômetro cheio com amostra e água à temperatura do ensaio, g,

H = Correção para a expansão térmica do asfalto (Fig. 5), g,

dw = Densidade da água à temperatura do ensaio, Curva D na Fig. 6, mg/m³, e

0,9970 = Densidade da água a 25 °C (77 °F), mg/m³.

A razão (dw / 0,9970) é a curva R na Fig. 6.

FIG. 6 Curvas D e R para Eq. 4

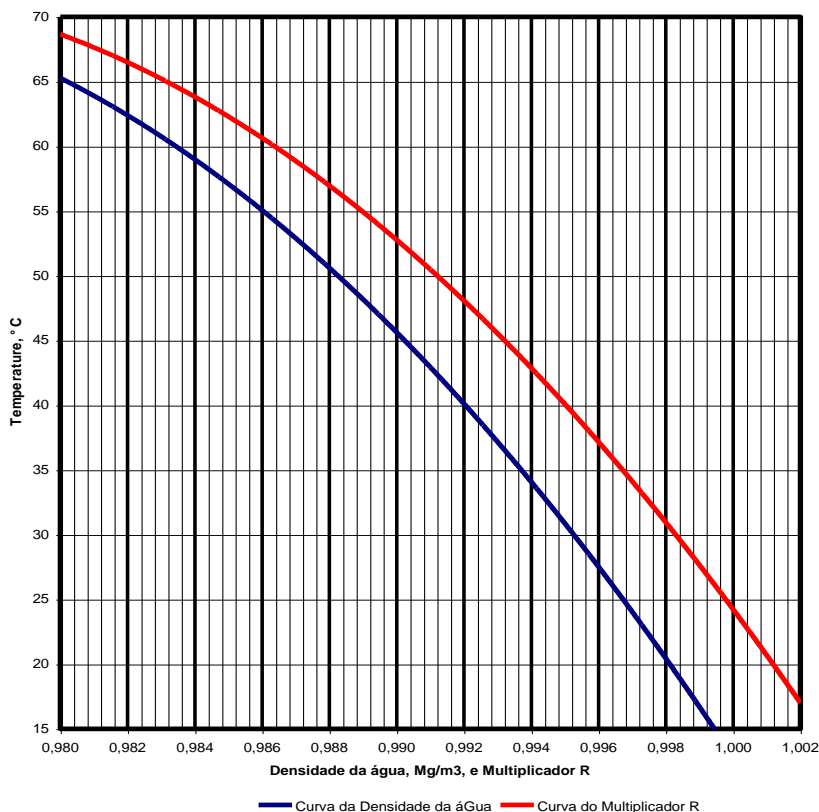
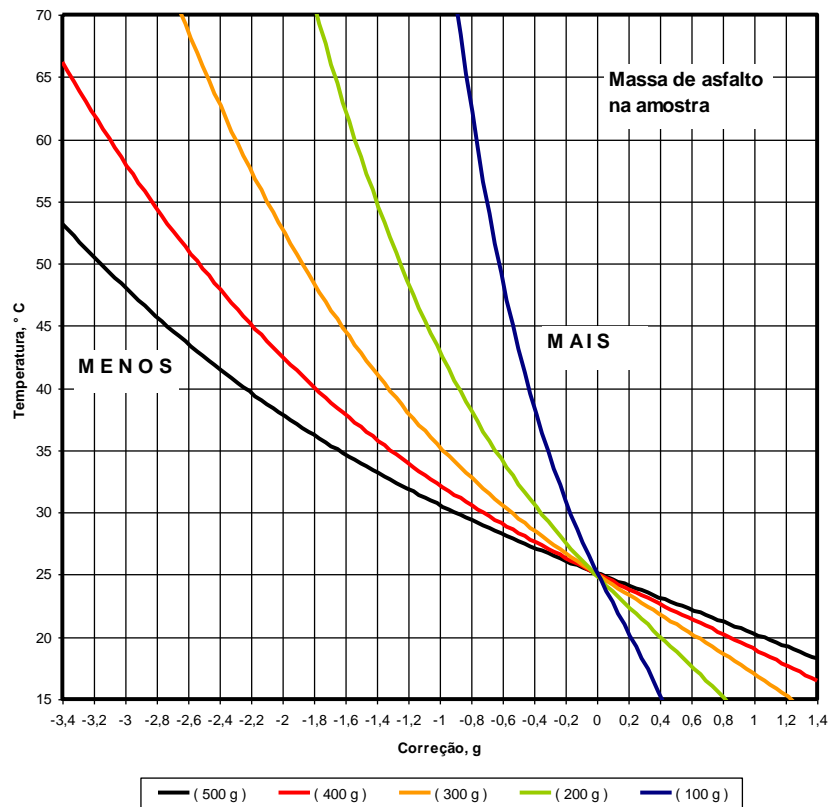


FIG. 5 Curvas de Correção para Expansão Térmica do Asfalto, H. na Equação 4



Nota 10 – Este procedimento geral para correção dos efeitos térmicos deve ser aplicado também para pesadas feitas em outros Frascos adequados.

Nota 11 - Quando ensaiar as amostras por partes, as diferenças entre as massas específicas de cada porção deve estar entre os parâmetros de precisão estabelecidos como listado na Seção 17. Se os valores estão dentro dos parâmetros de precisão estabelecidos, deve ser feita a média com a massa específica de cada porção. Se os valores estiverem fora dos limites estabelecidos, o ensaio deverá ser refeito.

14.2 Densidade Teórica Máxima a 25 °C (77 °F):

14.2.1 Calcule a Densidade Teórica Máxima correspondente a 25 °C, da seguinte maneira:

Densidade Teórica Máxima a 25 °C (77 °F) = Massa Específica Teórica Máxima x 997,1 kg / m³ no Sistema Métrico Internacional, ou

Densidade Teórica Máxima a 25 °C (77 °F) = Massa Específica Teórica Máxima x 62,245 lb. / ft³ no Sistema Inglês.

Onde:

A Massa Específica da água a 25 °C (77 °F) = 997,1 no Sistema Métrico ou 62,245 no Sistema Inglês.

15 PROCEDIMENTO SUPLEMENTAR PARA AMOSTRAS CONTENDO AGREGADOS POROSOS

Nota 13 – Experiências indicam que este procedimento suplementar tem um efeito insignificante nos resultados dos ensaios se a mistura contem agregados com a absorção de água abaixo de 1,5 por cento.

15.1 Se os poros dos agregados não estão totalmente selados pelo filme asfáltico, eles podem ficar saturados com água durante a aplicação de vácuo. Para verificar se ocorreu este fato, proceda da seguinte maneira depois de completar as 13.1 ou 13.2. Drene a água da amostra. Para evitar a perda de finos através da toalha, segure em cima do Frasco. Quebre diversas pedras graúdas e examine se há umidade nas superfícies saturadas.

15.2 Se o agregado absorveu água, espalhe a amostra na frente de um ventilador para remover a umidade da superfície. Determine a massa a cada 15 minutos e quando a perda na massa for menor que 0,05% para este intervalo, a amostra pode ser considerada com a superfície seca. Este procedimento requer aproximadamente 2 horas e a amostra remexida intermitentemente. Quebre os conglomerados da MAQ com a mão. Tome cuidado para não perder nenhuma partícula da MAQ.

15.3 Para calcular a massa específica da amostra substitua a massa com superfície seca final determinada na seção 15.2 por \underline{A} no denominador das equações 2 ou 3 conforme apropriado.

16 RELATÓRIO

16.1 No relatório devem constar as seguintes informações:

16.1.1 Massa Específica e Densidade da MAQ, com precisão de 0,001 para massa específica ou com precisão de 1 kg/m³ para densidade como: mas esp 25/25 °C ou Densidade a 25 °C,

16.1.2 Tipo de Mistura,

16.1.3 Tamanho da Amostra,

16.1.4 Número de amostras

16.1.5 Tipo de Frasco, e

16.1.6 Tipo de procedimento.

17 PRECISÃO

17.1 Critério para julgar a aceitabilidade dos resultados do ensaio de Massa Específica obtidos por este método são dados pela seguinte tabela:

Tabela 2 - Preciões Estimadas

Ensaio e Tipo de Índice	Desvio Padrão (1s)	Intervalo Aceitável para dois Resultados (d2s)
Resultados obtidos sem o uso da seção 15		
Método A ^a		
Precisão para 1 operador	0,0051	0,014
Precisão Multilaboratório	0,0084	0,024
Método B ^b		
Precisão para 1 operador	0,0064	0,018
Precisão Multilaboratório	0,0103	0,029

^a Base da Estimativa: 1 repetição, 1 material, 344 laboratórios

^b Base da Estimativa: 1 repetição, a material, 134 laboratórios

17.2 Os números dados na coluna 2 são os Desvios Padrão que se mostraram apropriados para as condições do ensaio descritos na coluna 1. Os números dados na coluna 3 são os limites que não podem ser ultrapassados pela diferença entre os resultados de 2 ensaios executados corretamente. A precisão Multilaboratório não foi verificada para o Picnômetro de 4500 ml ou para o de grande tamanho.

17.3 Os valores na coluna 3 são os intervalos aceitáveis para 2 ensaios. Quando mais de 2 resultados são analisados, o intervalo na coluna 3 deve ser aumentado. Multiplique o Desvio Padrão da coluna 2 pelo multiplicador dado na tabela 1 da ASTM C 670 para a quantidade real de ensaios.

Exemplo para 3 ensaios = $0,004 \times 3,3 = 0,013$.

Informações suplementares e suporte técnico são dados na ASTM C 670.

APENDICE

Informação não Mandatória

X1. EXEMPLO DE UMA VERIFICAÇÃO DE CALIBRAÇÃO PARA PROGRAMAS INTERLABORATORIAIS

X1.1 ESCOPO

X1.1.1 Este apêndice tem 2 objetivos:

X1.1.1.1 Indicar o método para corrigir para 25 °C a Massa Específica Teórica Máxima quando

determinações são feitas a temperaturas diferentes.

X1.1.1.2 Indicar o intervalo de temperatura em °C acima e abaixo de 25 °C dentro do qual não é necessária nenhuma correção de temperatura, porque a variação do valor da Massa Específica Teórica é igual ou menor que 0,0004 para o valor determinado a 25 °C.

X1.2. VALORES INDICADOS

X1.2.1 A seguir exemplo para a Massa Específica Teórica Máxima de MAQ solta:

X1.2.1.1 Massa da MAQ Solta = 1.251,3 g.

X1.2.1.2 Volume da MAQ Solta a 20 °C = 492,77 ml.

X1.2.1.3 Porcentagem de asfalto = 5,0% da mistura total.

X1.2.1.4 Massa Específica do Asfalto a 20 °C = 1,029

X1.2.1.5 Massa Específica Aparente do Agregado Combinado = 2,714.

X1.2.1.6 Coeficiente de expansão volumétrica do Asfalto a 20 °C = $6,2 \times 10^{-4}$ ml/ml/°C (Recomendação D 4311/D4311M).

X1.2.1.7 Coeficiente de expansão volumétrica do Agregado a 20 °C = $2,2 \times 10^{-5}$ ml/ml/°C. ²

X1.3 Base de cálculo para um grama de MAQ a 20 °C

X1.3.1 Massa de Asfalto = 0,05 g.

X1.3.2 Volume de Asfalto = $0,05 / 1,029 = 0,0486$ ml.

X1.3.3 Massa de Agregado = 0,95 g.

X1.3.4 Volume de Agregado = $0,95 / 2,714 = 0,3500$ ml.

X1.3.5 Volume de Asfalto + Agregado em uma grama de MAQ Solta a 20 °C = $0,0486 + 0,3500 = 0,3986$ ml.

X1.4 Base de cálculo para mudança de volume de um grama da mistura asfáltica solta para 1 °c num ensaio a 20 °c

X1.4.1 Mudança de Volume para o Asfalto = $6,2 \times 10^{-4} \times 0,0486 = 0,3013 \times 10^{-4}$ ml = $3,0130 \times 10^{-5}$ ml.

X1.4.2 Mudança de Volume para o Agregado = $2,2 \times 10^{-5} \times 0,3500 = 0,77 \times 10^{-5}$ ml

X1.4.3 Mudança de Volume para um grama da MAQ Solta para alteração de 1 °C num ensaio na temperatura de 20 °C = $3,0130 \times 10^{-5} + 0,7700 \times 10^{-5} = 3,7830 \times 10^{-5}$ ml.

X1.5 Correção de volume

X1.5.1 Para uma diferença de temperatura da água de 1 °C abaixo ou acima de 20 °C, a correção do volume de água deslocada por um grama da MAQ Solta pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\text{correção} = \Delta T \times K_T \times V_T \text{ ml} \quad (X1.1)$$

Onde:

$\Delta T = 1$ °C

$K_T =$ Mudança de volume para um grama da MAQ Solta para alteração de 1 °C na temperatura de ensaio acima ou abaixo de 20 °C = $3,7830 \times 10^{-5}$ ml

$V_T =$ Volume de água que corresponde a 1.251,3 g de Massa da MAQ Solta na temperatura do ensaio de 20 °C = 492,77 ml

Substituindo nas equações, temos:

$$\text{Correção} = 1 \times 3,7830 \times 10^{-5} \times 492,77 \text{ ml} = 0,01864 \text{ ml por grama a } 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

X1.6 A tabela X1.1 ilustra um exemplo da influência de correções de temperatura. Para um volume e uma determinada massa de MAQ testado a temperaturas específicas, esta tabela relaciona estas influências na massa específica da MAQ.

Tabela X1.1 Influência das correções de temperaturas para um volume medido a 20 °C
de uma dada massa solta de Mistura Asfáltica, para calcular a Massa Específica
Teórica Máxima a 25 °C

Temperatura °C	Volume da MAQ a 20 °C, ml	Correção do Volume pela mudança da Temperatura	Volume corrigido da MAQ a 20°C, ml	Massa da MAQ, g	Massa Específica da MAQ
1	2	3	4 = 2 + 3	5	6 = 5 / 4
31	492,77	0,2046	492,975	1.251,3	2,5383
30 ^a	492,77	0,1860	492,956	1.251,3	2,5384
29 ^a	492,77	0,1674	492,937	1.251,3	2,5385
28 ^a	492,77	0,1488	492,919	1.251,3	2,5386
27 ^a	492,77	0,1302	492,900	1.251,3	2,5386
26 ^a	492,77	0,1116	492,882	1.251,3	2,5387
25 ^a	492,77	0,0930	492,863	1.251,3	2,5388
24 ^a	492,77	0,0744	492,844	1.251,3	2,5389
23 ^a	492,77	0,0558	492,826	1.251,3	2,5390
22 ^a	492,77	0,0372	492,807	1.251,3	2,5391
21 ^a	492,77	0,0186	492,789	1.251,3	2,5392
20	492,77	0,0000	492,770	1.251,3	2,5393
19	492,77	-0,0186	492,751	1.251,3	2,5394

^a Intervalo menor que 0,0005.

Notas - Rigorosamente falando, a tabela acima mostra que a Massa Específica para esta mistura em particular, quando ensaiada a 20 °C, está no limite de correção da Massa Específica Teórica Máxima a 25 °C, 2,5388 versus 2,5393, isto é, 0,0005, e então a correção de temperatura é necessária. Se o ensaio fosse feito a 21 °C, a tabela indica que não seria necessário a correção de temperatura, por que os valores medidos a 21 °C teriam satisfeito a tolerância da Massa Específica Teórica Máxima a 25 °C, 2,5388 versus 2,5392, diferença menor que 0,0005.

¹ Sargent Welch, 39745 Gauge-Vacuum, Mercury Prefilled (or equivalent)

² Krebs and Walker, Highway Materials, McGraw-Hill Inc., 1971, p. 274